Pedobiologia, Bd. 10, S. 305—319 (1970)

Institut für Bodenbiologie der Forschungsanstalt für
Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode

Der Einfluß verschiedener Mulchmaterialien auf den Nährelementgehalt von Regenwurmröhren im Unterboden*)

O. Graff

Mit einer Abbildung

(Angenommen am 9. 1. 1970)

1. Einleitung

Ponomareva (1953) hat erstmalig in einem rasenpodsoligen Boden der Umgebung von Moskau auch die tieferen Horizonte nach Einflüssen der Regenwurmtätigkeit untersucht. In den Wurmausscheidungen konnte sie eine Anreicherung von Calcium und Magnesium gegenüber dem Kontrollboden nachweisen. Sie kommt zu dem Schluß: „Der Gehalt an sorbierten Basen, Calciumkarbonat sowie der Mikroorganismenbesatz und außerdem die Stabilität der Bodenstruktur befanden sich in unseren Versuchen in direkter Abhängigkeit von der Menge der organischen Substanzen, die durch die Regenwürmer in den Boden eingebracht wurden."

In einer früheren Veröffentlichung (Graff 1967) wurde über die Menge der Nährelemente (N, P, K, Ca) berichtet, die Regenwürmer der Art *Lumbricus terrestris* Linnaeus 1758 beim Bau ihrer Wohnröhren in den Unterboden verlagern. Die Erscheinung kommt dadurch zustande, daß die Tiere ihre Bauten über die ganze Länge hin mit ihren nährstoffreichen Exkrementen auskleiden. Die Untersuchungen fanden seinerzeit auf einer Parzelle des Versuchsfeldes „Südgelände" der FAL statt, die seit Jahren regelmäßig mit organischen Düngern (Stallmist bzw. Klärschlamm) abgedüngt worden war.

Die nachstehend berichteten Ermittlungen erfolgten nahe der damals untersuchten Stelle auf einem Bodenbedeckungs- (Mulch-) Versuch. Die Untersuchungsmethode ist in der genannten Arbeit ausführlich beschrieben.

2. Vorgeschichte der untersuchten Parzellen

Im Herbst 1959 wurden 6, ein Jahr darauf 3 weitere Parzellen von jeweils 3×5 m Abmessung angelegt und durch alle folgenden Winter bis einschließlich 1963/64 versuchsmäßig bedeckt (gemulcht), und zwar die Parzellen 1—6 (Herbst 1959) mit nachstehenden Bedeckungsmaterialien (Mengen in Tabelle 1):

(1) Weizenstroh aus der jeweiligen Jahresernte mit Zusatz von organisch gebundenem Stickstoff in Form von Fischmehl (ca. 1 Teil Rein-N auf 100 Teile Stroh).
(2) Müllkompost aus dem Jahre 1959 (Herkunft: Müllwerk Heidelberg), der in einer Miete im Freien gelagert wurde und deshalb im Laufe der Versuchszeit völlig durchrottete.
(3) Kontrolle, unbehandelt, ohne Bedeckung.
(4) Weizenstroh [wie bei (1)] mit Zusatz von Kalkstickstoff (1 Teil Rein-N auf 100 Teile Stroh).
(5) Handelsüblicher Torfmull aus Weißtorf ohne Düngerzusatz.
(6) Abwasserschlamm von den Trockenbeeten des Abwasserverbandes Braunschweig, nicht ausgefault, aus dem jeweiligen Jahr stammend.

*) Herrn Prof. Dr. W. Sauerlandt zur Vollendung des 70. Lebensjahres dankbar zugeeignet.

Die Parzellen 7—9 (Herbst 1960) mit nachstehenden Bedeckungsmaterialien (Mengen in Tabelle 1):
(7) Kontrolle, unbehandelt, ohne Bedeckung.
(8) Frischer, mechanisch aufbereiteter Müll, sogenanntes Raspelgut (Herkunft: Müllwerk Heidelberg), der bei Versuchsbeginn lufttrocken unter Dach eingelagert wurde und sich daher während der Versuchszeit nur wenig veränderte.
(9) Kartoffelkraut und frische Grünmasse (Gras von Zierrasen) aus dem jeweiligen Jahr.

Die Parzellen 7—9, obwohl an 1—6 anschließend, haben eine andere Vorgeschichte: der Boden wurde in der Vergangenheit gärtnerisch genutzt und erhielt deshalb jahrelang erhebliche Mengen an Stallmist. Die Parzellen 1—6 gehörten dagegen bis 1959 zu einem Ackerstück, das feldmäßig bestellt und abgedüngt wurde.

Die Bedeckungen wurden bis einschließlich 1963 alljährlich im Herbst in gleicher Menge wiederholt.

Die im Bedeckungsmaterial enthaltenen sowie die mit der zusätzlichen Mineraldüngung je Quadratmeter und Jahr gegebenen Mengen an Nährelementen, organischer und Aschensubstanz sind ebenfalls aus Tabelle 1 ersichtlich.

Tabelle 1. Jährliche Zufuhr an organischer Trockenmasse, Asche und N, P, K, Ca (Mulchmaterialien und Mineraldünger) im Durchschnitt von 1960 (bzw. 1961) bis 1963 in kg/m²

Parzelle	organische Trockenmasse	Asche	N	P	K	Ca	Anzahl der Jahre
1 Stroh und Fischmehl	1,54	0,20	0,024	0,007	0,014	0,023	4
2 Müllkompost	1,40	4,62	0,029	0,018	0,031	0,255	4
3 Kontrolle unbedeckt	0	0	0,013	0,001	0,003	0,015	4
4 Stroh und Kalkstickstoff	1,57	0,10	0,026	0,002	0,012	0,035	4
5 Torfmull	2,88	0,07	0,066	0,002	0,008	0,033	4
6 Abwasserschlamm	1,81	2,94	0,024	0,017	0,013	0,132	4
7 Kontrolle unbedeckt	0	0	0,009	0,001	0,003	0,008	3
8 Raspelgut	1,70	1,57	0,018	0,006	0,018	0,120	3
9 Kartoffelkraut	1,36	0,39	0,018	0,005	0,067	0,027	3

Die Entwicklung jeder Regenwurmpopulation ist, abgesehen vom Nahrungsangebot, eng mit dem Temperaturverlauf und den Schwankungen im Wassergehalt des Bodens verknüpft. Jahre mit positiver klimatischer Wasserbilanz, also mit einem Überschuß des Niederschlags gegenüber der Verdunstung während der Vegetationszeit, bieten besonders gute Voraussetzungen zur Massenentwicklung.

Im Jahre 1959 entstand infolge der trockenheißen Witterung ein erhebliches Wasserdefizit im Boden, das im Laufe des Jahres 1960 ausgeglichen werden konnte. Das Jahr 1961 war ein überdurchschnittlich regenreiches Jahr, doch in den drei Folgejahren nahmen die jährlichen Niederschlagsmengen wieder ab. Ausgesprochene Trockenheit im Boden trat dabei erst 1964 ein.

3. Die Regenwurmpopulation in den Jahren vor der Röhrenuntersuchung

In den Jahren 1961, 1963 und 1964 wurde jeweils im Mai eine Populationsanalyse durchgeführt. Das Ergebnis ist aus der Abb. 1 ersichtlich.

Tabelle 2. Witterungsdaten für die Jahre vor der Ermittlung

Jahr	Niederschlag					Lufttemperatur		
	Jahres-summe mm	Halbjahres-summen		Klimatische Wasserbilanz Sommerhalbjahr		Jahres-mittel °C	Halbjahres-mittel	
		IV–IX	X–III	IV–VI	VII–IX		IV–IX	X–III
1959	303	141	193	−220	−242	9,7	15,4	3,6
1960	690	337	424	− 55	+ 5	8,9	13,7	5,3
1961	944	573	337	+208	− 38	9,5	14,4	3,4
1962	606	359	171	− 7	+ 44	7,5	12,4	0,03
1963	518	335	182	− 78	− 56	7,5	14,3	2,2
1964	452	279		−142	−127	8,5	14,8	

Mittlere Jahressumme 1891–1960 = 661 mm, mittl. Jahrestemperatur 1881–1950 = 8,7 °C.

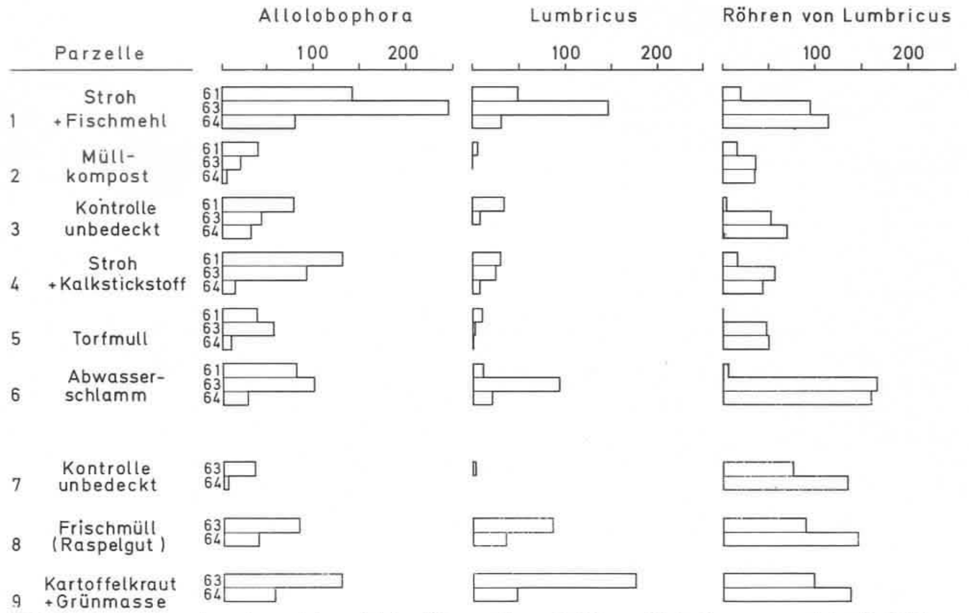


Abb. 1. Regenwurmbesatz und Anzahl der Wurmröhren in 35 cm Tiefe, bezogen auf 1 m². Zählung im Mai der Jahre 1961, 1963 und 1964.

Die auf der Versuchsfläche vorkommenden Vertreter der Gattung *Allolobophora* siehe Abb. 1) sind vorwiegend für die biologischen Vorgänge im Oberboden von Bedeutung. Darauf soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden. Dagegen zählt zu der Gattung *Lumbricus* die Species, welche die Röhren im Unterboden anlegt, der bereits genannte *Lumbricus terrestris*. In der Abbildung 1 sind von dieser Wurmart nur die Individuen unter 600 mg Einzelgewicht berücksichtigt, denn Tiere bis zu dieser Größe werden erfahrungsgemäß während der Aktivitätsperioden nahezu restlos durch Aufgraben erfaßt, da sie in dieser Zeit den Oberboden kaum verlassen.

Größere bzw. schwerere Tiere ziehen sich jedoch sehr schnell durch die Röhren in die Tiefe zurück, sobald sie die geringsten Bodenerschütterungen spüren, die beim Graben nicht zu vermeiden sind. Um auch schwerere Exemplare vom *Lumbricus terrestris* zu erfassen, genügt die Grabemethode also nicht, man muß den Boden mit Expellentien behandeln, wie z. B. Lösungen von Formalin oder Kaliumpermanganat. Im vorliegenden Falle verboten sich diese Methoden aber aus Versuchsgründen.

Wir können also nicht angeben, wieviel erwachsene Exemplare der Art *Lumbricus terrestris* jeweils im Mai der Jahre 1961, 1963 und 1964 vorhanden waren. Uns liegen lediglich in den Röhren, die bei 35 cm Tiefe im horizontalen Anschnitt gezählt worden sind, die Lebensspuren der erwachsenen Tiere vor.

Beachtenswert ist die Tatsache, daß im Herbst 1961 nur verhältnismäßig wenige Röhren auf den Parzellen 1—6 gefunden wurden. Das wird darauf zurückzuführen sein, daß 1959 die erwachsenen Tiere infolge der monatelangen Trockenheit zum überwiegenden Teil abstarben. Aus den gleichen Gründen wurde keine Nachkommenschaft erzeugt. Von den wenigen Tieren, die das Jahr 1959 überlebten, konnte in der Folgezeit die Population nur langsam neu aufgebaut werden. Auf der unbehandelten Parzelle 3 wurden im Oktober 1961 zwar wieder 34 jugendliche *L. terrestris* je 1 m² festgestellt, die ein mittleres Gewicht

Tabelle 3. Röhrenzahl und Azidität (*p*H in KCl gemessen, B = im Boden, T = in der Wandaus-

		1		2		3		4		5	
		Stroh u. Fischmehl		Müll-Kompost		Kontrolle unbedeckt		Stroh u. Kalkstickst.		Torf	
Röhrenzahl*)		56 (59)		19 (17)		45 (25)		22 (22)		27 (24)	
		B	T	B	T	B	T	B	T	B	T
	Krume	6,6	—	6,6	—	6,3	—	6,7	—	5,8	—
*p*H	25—50	5,7	5,9	5,3	5,5	5,0	5,4	5,4	5,5	5,4	5,7
KCl	50—75	5,8	6,2	5,2	5,3	5,4	5,5	5,2	5,3	5,5	5,6
	75—100	4,9	5,3	5,1	5,3	5,2	5,3	5,1	5,1	5,4	5,4

*) ohne Klammer: Anzahl der Röhren mit Durchmesser > 5 mm
in Klammer: Anzahl der Röhren mit Durchmesser < 5 mm

Tabelle 4. Kohlenstoff, Gesamtstickstoff

		1		2		3		4		5	
		B	T	B	T	B	T	B	T	B	T
	Krume	1132	—	1028	—	880	—	1178	—	1587	—
C	25—50	421	1004	349	1409	227	639	440	977	390	1050
	50—75	132	569	123	469	n.e.	389	208	577	n.e.	637
	75—100	119	543	108	280	158	384	64	419	26	311
	Krume	99	—	120	—	82	—	94	—	89	—
N	25—50	37	82	30	70	18	50	24	83	26	59
	50—75	13	40	14	37	10	30	16	42	22	35
	75—100	12	42	7	32	9	38	6	23	9	18
	Krume	11,5	—	8,5	—	10,5	—	12,5	—	18,0	—
C	25—50	11,5	12,0	11,5	20,0	12,5	13,0	18,5	12,0	15,0	17,5
N	50—75	10,0	14,0	9,5	12,5	n.e.	13,0	13,0	13,5	n.e.	18,0
	75—100	10,0	13,0	15,5	9,0	17,5	10,0	10,5	18,0	3,0	17,5

von 0,55 g hatten, aber auf der gleichen Fläche nur 5 in die Tiefe führende Wohnröhren größerer Tiere. Offenbar waren alle seit 1959 unbewohnten Bauten inzwischen verfallen, wozu insbesondere die hohe Bodenfeuchtigkeit im regenreichen Jahr 1961 beigetragen haben mag. Im Jahre 1962 unterblieben die Ermittlungen infolge Personalmangels. Im Herbst 1963 wurden zahlreiche Jungtiere gefunden, die eine numerisch starke Elterngeneration voraussetzten, demgemäß wurde auch eine Vervielfachung der Röhren beobachtet. Im Herbst 1964 war die Population numerisch bedeutend schwächer als im Vorjahr, die Röhrendichte dagegen war erhalten geblieben oder noch enger geworden.

4. Gewinnung der Proben für die chemische Analyse

Auf jeder Parzelle ist zuerst die Bodenprobe aus der Krume mittels Bohrstock (10 Einstiche je m²) entnommen worden. Nach Abtragen der Krume wurden nacheinander die drei Unterbodenbereiche (25–50, 50–75 und 75–100 cm) durchmustert, die Röhren freigelegt und die Wandauskleidung („Tapete") mit Löffel und Spatel herauspräpariert. Das aus jeweils einem Tiefenbereich gewonnene Material wurde zu einer Probe vermischt, durch ein feines Sieb gegeben und unmittelbar der chemischen Analyse zugeführt. Einen Unterschied zwischen alten, bereits verlassenen, und frischen, noch bewohnten Röhren zu machen, wie bei der früheren Untersuchung (Graff 1967), verbot sich wegen der Seltenheit der letzteren. Die Probenentnahme erfolgte im August 1964.

kleidung der Röhren)

6		7		8		9	
Abwasser-schlamm		Kontrolle unbedeckt		Frischmüll Raspelgut		Kart.-Kraut Grünmasse	
96	(65)	68	(67)	93	(53)	83	(55)
B	T	B	T	B	T	B	T
5,8	–	6,2	–	6,4	–	6,1	–
5,6	6,0	5,2	5,3	5,4	5,7	5,6	5,7
5,8	6,1	5,2	5,3	5,3	5,4	5,5	5,6
4,3	5,5	5,4	5,5	5,2	5,3	5,2	5,4

(mg je 100 g abs. trockenen Bodens)

6		7		8		9		Mittel aus 1–9		Sicherung	% des Krumenwertes	
B	T	B	T	B	T	B	T	B	T		B	T
1744	–	1014	–	1284	–	1138	–	1220	–		100	–
306	1432	395	685	370	892	502	1062	380	1020	×××	31	84
n.e.	1249	114	474	195	533	172	583	157	610	×××	13	50
330	886	112	334	134	319	90	356	127	426	×××	10	35
185	–	84	–	96	–	102	–	106	–		100	–
32	146	46	76	28	105	40	109	31	87	×××	29	82
12	64	19	27	23	60	14	70	16	45	×××	15	42
15	64	n.e.	47	n.e.	25	15	44	9	37	×××	8	35
9,5	–	12,0	–	13,5	–	11,0	–					
9,5	10,0	8,5	9,0	13,0	15,0	12,5	9,5					
n.e.	19,5	6,0	17,5	8,5	15,0	12,5	8,5					
22,0	14,0	n.e.	7,0	n.e.	21,5	6,0	8,0					

Irrtumswahrscheinlichkeit = α
$\alpha > 5$ %: 0
$\alpha < 5$ %: ×
$\alpha < 1$ %: ××
$\alpha < 0,1$ %: ×××

Tabelle 5. Phosphor (HCl) und laktatlöslicher Phosphor

		1		2		3		4		5	
		B	T	B	T	B	T	B	T	B	T
	Krume	55	—	59	—	46	—	50	—	45	—
Ges.	25—50	25	48	27	51	17	33	31	37	26	42
P	50—75	14	40	12	27	23	25	16	26	19	40
	75—100	14	24	13	18	27	31	19	24	17	23
	Krume	21,6	—	21,8	—	13,1	—	16,4	—	10,7	—
lakt.	25—50	1,7	11,9	3,5	17,2	1,3	4,4	6,5	8,8	1,7	7,8
P	50—75	1,4	7,1	2,1	7,3	1,8	3,1	2,1	4,8	2,0	4,5
	75—100	1,8	4,4	2,1	3,0	0,8	1,9	0,8	3,1	0,5	1,7

Tabelle 6. Gesamt- und laktatlösliches Kalium

		1		2		3		4		5	
		Stroh u. Fischmehl		Müll-Kompost		Kontrolle unbedeckt		Stroh + Kalkstickst.		Torf	
		B	T	B	T	B	T	B	T	B	T
	Krume	924	—	394	—	640	—	629	—	581	—
K	25—50	789	737	540	404	506	645	768	789	625	654
	50—75	n.e.	747	747	249	n.e.	530	1247	934	737	686
	75—100	635	426	738	820	623	426	969	841	645	364
	Krume	21,3	—	23,4	—	15,8	—	20,8	—	10,2	—
lakt.	25—50	19,3	21,6	11,7	14,3	20,1	23,9	13,8	5,1	27,6	29,9
K	50—75	6,1	11,1	5,1	8,0	5,5	6,6	6,7	9,7	11,8	18,6
	75—100	5,1	5,0	4,5	5,2	4,0	5,6	3,6	5,1	3,6	7,5

Tabelle 7. Calcium und Magnesium

		1		2		3		4		5	
		B	T	B	T	B	T	B	T	B	T
	Krume	129	—	354	—	107	—	158	—	195	—
Ca	25—50	91	111	97	280	103	116	99	136	103	124
	50—75	74	81	86	106	117	121	95	106	94	132
	75—100	156	94	76	94	99	103	77	103	124	102
	Krume	4,7	—	8,6	—	4,4	—	4,0	—	4,9	—
Mg	25—50	5,1	6,0	5,8	8,9	4,5	4,8	4,0	4,2	5,3	6,0
	50—75	n.e.	6,0	4,6	5,2	n.e.	6,8	4,0	4,1	7,4	5,3
	75—100	8,2	6,0	4,9	4,4	15,0	8,8	4,1	4,0	10,6	6,9

Die vorangegangenen niederschlagsarmen Monate hatten die Aktivität der Bodenfauna herabgemindert. Röhren mit frischen Tapeten waren daher kaum vorhanden.

Bei der Entnahme des Material für die Analyse des röhrenfreien Bodens wurden Partien gewählt, die mindestens 5 cm von den Röhren entfernt waren.

5. Ergebnisse

In der Tabelle 3 sind die 1964 ermittelte Röhrenzahl und die Azidität der untersuchten Proben, in den Tabellen 4—7 die Nährelementgehalte (in mg je 100 g absolut trocke-

(mg je 100 g abs. trockenen Bodens)

6		7		8		9		Mittel aus 1—9		Sicherung	% des Krumenwertes	
B	T	B	T	B	T	B	T	B	T		B	T
62	—	52	—	52	—	53	—	53	—		100	—
26	68	35	44	25	51	39	48	28	47	×××	53	89
15	37	16	27	18	36	20	32	17	32	×××	32	60
11	53	17	23	16	25	17	25	17	27	××	32	51
25,3	—	18,3	—	20,2	—	24,1	—	19,6	—		100	—
4,4	20,3	7,4	17,2	7,0	16,8	13,0	17,9	5,2	13,6	×××	26	69
1,9	9,0	2,7	6,5	2,8	10,7	3,0	9,0	2,2	6,9	××	11	35
0,9	8,3	1,7	4,8	0,8	4,0	1,0	3,4	1,2	3,8	0	6	19

(mg je 100 g abs. trockenen Bodens)

6		7		8		9		Mittel aus 1—9				
Abwasserschlamm		Kontrolle unbedeckt		Frischmüll Raspelgut		Kart.-Kraut Grünmasse				Sicherung	% des Krumenwertes	
B	T	B	T	B	T	B	T	B	T		B	T
786	—	519	—	863	—	962	—	700	—	keine	100	—
446	478	612	540	351	518	560	743	583	568		83	81
602	509	311	447	281	872	737	436	666	601		95	86
654	483	747	602	873	428	560	509	741	544		106	78
8,6	—	11,4	—	20,1	—	47,2	—	19,9	—	keine	100	—
12,5	13,1	6,1	8,9	8,7	12,3	16,0	16,9	15,1	16,2		76	81
11,8	11,6	8,0	8,0	6,1	10,1	7,1	8,0	7,6	10,2		38	51
7,5	8,0	5,1	5,6	3,1	2,6	5,6	5,1	4,7	5,5		24	28

(mg je 100 g trockenen Bodens)

6		7		8		9		Mittel aus 1—9		Sicherung	% des Krumenwertes	
B	T	B	T	B	T	B	T	B	T		B	T
212	—	138	—	222	—	160	—	186	—		100	—
78	99	88	131	109	277	132	159	100	159	×××	54	85
109	101	84	94	87	191	95	124	102	117	0	55	63
116	92	71	81	95	109	71	102	98	98	0	53	53
3,8	—	6,0	—	8,2	—	6,8	—	5,7	—		100	—
4,6	5,2	4,3	8,1	8,0	5,7	6,2	3,1	5,6	5,8		98	102
n.e.	4,8	4,1	9,0	6,0	10,1	6,4	3,3	5,4	6,1		95	107
8,5	4,7	4,0	5,0	4,6	4,5	4,3	4,7	5,4	5,4		95	95

nen Materials) für 4 Bodentiefen aufgeführt (Krume, 25—50, 50—75 und 75—100 cm). Für die 3 Unterbodenbereiche sind jeweils 2 Werte angegeben: Unter B für den röhrenfreien Boden, unter T für die Wandauskleidung der Röhren („Tapeten"). Für einen Röhrenabschnitt von 25 cm Länge wird ein durchschnittliches Volumen von 21,2 cm³ angenommen (siehe GRAFF 1967). Bei der Knappheit des zur Verfügung stehenden Röhrenmaterials (für etwa 300 g Trockensubstanz mußte die Auskleidung aus ca. 25 Röhrenabschnitten von 25 cm Länge gewonnen werden) waren einzelne stark herausfallende Werte nicht zu vermeiden.

Die Ergebnisse wurden varianzanalytisch (Tabelle 8) verrechnet. Die angegebenen Grenzdifferenzen gelten nur für den Vergleich der aus den Werten der Parzellen 1—9 gebildeten Mittelwerte für Böden und Tapeten. Signifikante Differenzen ergaben sich für C, N, P, laktatlösl. P und Ca, nicht dagegen für K, laktatlösl. K und Mg. Die Symbole für die Signifikanzstufen sind unter der Tabelle 4 erklärt.

Tabelle 8. Grenzdifferenzen für die Mittelwerte (∅ 1—9) der Tabellen 4—7

	5%	1%	0,1%
C	167,55	223,35	291,57
N	14,59	19,45	25,39
P	6,86	9,15	11,94
lakt. P	2,85	3,80	4,96
K	226,27	302,74	397,58
lakt. K	4,34	5,79	7,56
Ca	32,77	43,68	57,02
Mg	2,36	3,18	4,22

5.0. Röhrenzahl

Bei den Grabungen haben wir weit- und englumige Röhren unterschieden. Der erste Wert in der Querspalte „Röhrenzahl" (Tabelle 3) bezieht sich auf die Röhren mit einem Lumen von mehr als 5 mm Durchmesser, der eingeklammerte Wert auf engere Röhren, deren Nährelementgehalt nicht ermittelt wurde. Die Wandauskleidungen waren hier zu dünn, um sie sauber herauspräparieren zu können oder sie fehlten überhaupt. Die Zahl der von *Lumbricus terrestris* im Unterboden angelegten Röhren (bezogen auf 1 m² der Bodenoberfläche) ist nicht identisch mit der aktuellen Besatzdichte (vgl. Abschnitt 3.), weil nur ein Bruchteil der vorhandenen Röhren bewohnt ist. Sie gibt aber einen guten Anhalt für die Wirkung der vorangegangenen Bedeckung auf die Aktivität der Regenwürmer. Stroh mit Fischmehl, Abwasserschlamm, Frischmüll und Kartoffelkraut haben offenbar das Nahrungsangebot bereichert und damit die Regenwurmvermehrung und -aktivität begünstigt. Alter Müllkompost besitzt wenig für die Regenwurmernährung taugliche Stoffe, ebenso verhält es sich mit Torf. Bei Zusatz von Kalkstickstoff zum Stroh wurde schon früher ein vorübergehendes Nachlassen der Regenwurmaktivität gegenüber Strohbedeckung ohne Zusätze beobachtet (Graff 1964, S. 58). Im vorliegenden Falle erscheint es nicht ausgeschlossen, daß eine Schädigung der oberflächennah lebenden Jugendstadien von *L. terrestris* durch das Cyanamid eingetreten ist, so daß sich die Population weniger entfalten konnte als vergleichsweise unter der Strohdecke mit Fischmehlzusatz.

5.1. Azidität

Die *p*H-Werte (Tabelle 3) sind im Tapetenmaterial geringfügig höher als im Boden. Wie erwähnt, handelt es sich um Mischproben aus vielen alten, verlassenen und wenigen frischen, noch bewohnten Röhren, zwischen diesen dürfte in Wirklichkeit ein größerer Unterschied vorhanden sein. In einer bewohnten Röhre werden der Tapete beim Auf- und Abgleiten des Wurms Schleimabsonderungen und die Ausscheidungen der Nephridien (Nierenorgane) zugeführt. Die Azidität der Tapetenoberfläche, mit der ihr Körper allein in Berührung steht, wird so von den Tieren selber beeinflußt. Bei Untersuchungen über die Verbreitung der Regenwürmer in verschiedenen Böden nach deren Aziditätsgrad müßte besonders dieser Umstand gewürdigt werden. Die Messung des *p*H-Wertes auf der Innenfläche des Röhrenlumens sollte in situ vorgenommen werden, was z. Z. noch am Fehlen geeigneter Meßgeräte scheitert.

5.2. Kohlenstoff

Die C-Gehalte in der Krume (Tabelle 4) standen in deutlicher Abhängigkeit von der Art der verabfolgten organischen Materialien. Die stärkste Erhöhung hatten Torf und Abwasserschlamm ergeben. Von oben nach unten erfolgte ein rascher Rückgang des C-Gehaltes sowohl im Boden wie auch im Röhrenmaterial. In Parzelle 2 übertraf der C-Wert der Röhrenabschnitte 25—50 cm sogar den Krumenwert. Der alte Müllkompost enthielt nämlich einen hohen Anteil von Kohleresten aus Ofen- resp. Heizungsasche. Diese werden im Boden nicht zersetzt und täuschen bei den Analysen organische Substanzen vor. Im vorliegenden Fall ist solches Material von den Würmern mit aufgenommen worden.

Die auf allen Parzellen mit zunehmender Tiefe beobachtete Abnahme des C-Gehaltes der „Tapeten" ist unerwartet. Man könnte annehmen, daß die Röhren im oberen Teil frischere Exkremente enthielten, während diese in den unteren Bereichen schon länger abgelegt und deshalb weitgehend zersetzt waren. Das widerspricht aber dem früheren Befund (GRAFF 1967, Seite 122, Tabelle 1). Damals wurde dieselbe Erscheinung bei Röhren gefunden, die in ihrer ganzen Länge frisch ausgekleidet waren. So bleibt einstweilen nur die Folgerung zu ziehen, daß die Regenwürmer zum Auskleiden ihrer Bauten in Oberflächennähe einen an organischer Substanz reicheren Kot verwenden, als tiefer unten. Eine experimentelle Lösung dieser Frage wird versucht.

5.3. Stickstoff

Der N-Gehalt (Tabelle 4) nahm in ähnlicher Weise von oben nach unten ab, sowohl im Boden als auch im Röhrenmaterial, wie der C-Gehalt.

Die Analyse eines einzelnen, frisch erscheinenden Röhrenbruchstücks aus 90 cm Tiefe der Abwasserschlammparzelle ergab einen Stickstoffgehalt von 199 mg je 100 g „Tapete" (Trockenmasse). Dieser Wert liegt über dreimal so hoch wie der Durchschnittswert dieser Parzelle in 75—100 cm Tiefe (64 mg, vgl. Tabelle 4) und sogar höher als der in der Krume derselben Parzelle gemessene N-Gehalt (185 mg). Wegen der Seltenheit solcher frischen Röhren konnten weitere Analysen nicht gemacht werden.

Das C/N-Verhältnis im Röhrenmaterial ist in den meisten Fällen weiter als im benachbarten Bodenbereich, d. h. die Wurmexkremente enthalten noch Anteile an leichter zersetzlichen organischen Stoffen.

5.4. Phosphor

Der Gehalt an P (Tabelle 5) ist im Röhrenmaterial, ähnlich wie der Stickstoff, stark vermehrt, so daß der umgebende Boden in allen Fällen übertroffen wird. Auf der Parzelle 6 (Abwasserschlamm) bleibt selbst die Krume hinter den Röhren in 25—50 cm Tiefe im P-Gehalt zurück. Der laktatlösliche Phosphor nimmt im Röhrenmaterial (T) höhere Prozentsätze des HCl-löslichen P ein als im Boden (B), was für die Ernährung von Pflanzen von Bedeutung sein kann, deren Wurzeln den Wurmröhren folgen.

5.5. Kalium

Die K-Analysen (Tabelle 6) ergaben für die Unterbodenbereiche stark schwankende Werte, was auf das geologische Material, geschichtete riß-glaciale Kiese und Sande mit wechselnden Feldspatanteilen[1]), zurückzuführen ist. Da die Würmer bei der Nahrungssuche naturgemäß neben Bodenmaterial vorzugsweise organische Substanzen aufnehmen, wird der Anteil der kaliumhaltigen Mineralien der Exkremente gegenüber dem Boden etwas verringert. In den Tapeten sind demgemäß die Werte für Gesamtkalium meist niedriger als im Boden, wogegen der laktatlösliche Anteil — mit wenigen Ausnahmen — höher ist.

1) Nach freundlicher mündlicher Mitteilung von H.-J. ALTEMÜLLER.

5.6. Calcium

Der Calciumgehalt (Tabelle 7) ist in der Krume infolge der unterschiedlichen Vorgeschichte und Behandlung der Parzellen unterschiedlich hoch.

Ähnlich wie die kaliumhaltigen Mineralien ist auch das Calcium ungleich im Unterboden verteilt, wie die stark schwankenden Werte für den Boden (B) ausweisen.

5.7. Magnesium

Die Magnesium-Gehalte (Tabelle 7) schwanken in der Krume recht erheblich. Leider liegen von den Mulchmaterialien keine Mg-Analysen vor. Auffallend sind die hohen Mg-Werte auf den mit Müll behandelten Parzellen 2 und 8 sowie der geringe Mg-Gehalt in der Krume der Parzelle 6. Bis auf die Parzellen 8 und 9 ist im Röhrenmaterial des Bereiches 25—50 cm der Mg-Gehalt durchweg höher als im umgebenden Boden, ja selbst höher als in der Krume.

5.8. Berechnung der Nährelementgehalte auf das Bodenvolumen

Der früheren Veröffentlichung (Graff 1967, S. 118—121) ist zu entnehmen, wie die Umrechnung der Nährelementgehalte, die in den Tabellen 4—7 in mg je 100 g abs. trokkenen Bodenmaterials angegeben sind, auf das Bodenvolumen unter einem Quadratmeter der Oberfläche vorzunehmen ist.

Für die Tapeten eines einzelnen Röhrenabschnitts in einem 25 cm mächtigen Unterbodenbereich wurde (l. c.) ein Volumen von 21,2 cm³ zugrunde gelegt. Das scheinbare spezifische Gewicht der Tapeten bewohnter Röhren lag zwischen 1,68 und 1,80. Das in dieser Arbeit verwendete Probenmaterial stammte aber aus nicht mehr bewohnten Röhren. Beim Herauspräparieren zerfiel es. Aus diesem Grunde war eine Messung des Volumengewichts unmöglich. Am nächstliegenden erschien es, dafür den Wert 1,35 anzunehmen, der im Frühjahr auf dem Versuchsfeld in der im Herbst gewendeten Ackerkrume gemessen wurde, die im C-Gehalt den Tapeten am meisten nahekommt. Der Nährelementgehalt für die „Tapeten" eines bestimmten Tiefenbereiches (E_t) unter einem Quadratmeter der Bodenoberfläche ist dann zu berechnen aus:

n = Anzahl der Röhren je 1 m² = nicht eingeklammerter Wert aus Tabelle 3,
V_t = Volumen eines 25 cm langen Röhrenabschnitts = 21,2 cm³,
n_t = scheinbares spez. Gewicht des Röhrenmaterials = 1,35,
e_t = Nährelementgehalt je 100 g Trockensubstanz aus den Tabellen 4—7; er muß in g angegeben werden, weil auch das scheinbare spezifische Gewicht in g ausgedrückt ist.

Dann gilt für $E_t = \frac{n \cdot V_t \cdot n_t \cdot e_t}{100}$

Beispiel: Der N-Gehalt der Röhrenabschnitte von 25—50 cm in den benachbarten Parzellen 7 und 8 ist wie folgt zu berechnen:

$$N_7\,(25-50) = \frac{68 \cdot 21{,}2 \cdot 1{,}35 \cdot 0{,}076}{100} = 1{,}478 \text{ g},$$

$$N_8\,(25-50) = \frac{93 \cdot 21{,}2 \cdot 1{,}35 \cdot 0{,}105}{100} = 2{,}793 \text{ g}.$$

Die Behandlung mit Frischmüll hat demnach den in „Tapeten" des angegebenen Tiefenbereichs enthaltenen Stickstoff gegenüber der Kontrolle nahezu verdoppelt.

6. Diskussion

6.0. Zustandekommen und Form von Regenwurmröhren

Man weiß einstweilen nicht, wie die Art *L. terrestris* beim Röhrenbau vorgeht. Zweierlei ist denkbar:

(1) Die Tiere fressen sich in das Substrat hinein und leeren ihren Darm an der Oberfläche oder innerhalb der lockeren Krume. Mitunter findet man an der Bodenoberfläche solche Ablagestellen von Unterbodenmaterial, doch keinesfalls so häufig, wie man entsprechend der jeweiligen Besatzdichte erwarten könnte.

(2) Die Würmer schieben sich durch Strecken und Verkürzen ihres Körpers, bzw. einzelner Körperpartien, durch das Substrat. Dabei wird das Wechselspiel ihrer Längs- und Ringmuskulatur von der unter Preßdruck stehenden Coelomflüssigkeit unterstützt. Das ist möglich zu Zeiten eines genügenden Wassergehaltes, der die Verschiebbarkeit der Bodenteilchen erlaubt. Das würde auch bedeuten, daß in der näheren Umgebung der Röhren eine Verdichtungszone entsteht. Dafür kann man gelegentliche, doch keineswegs in allen Fällen, Anhaltspunkte finden.

Unterstellt man die erste Möglichkeit, daß die Würmer durch Herausfressen den für die Röhre erforderlichen Platz schaffen, dann muß man den Nährelementgehalt der Tapeten um den Gehalt des gleichgroßen Volumens Boden vermindern (z. B. GRAFF 1967), um die wirkliche Zunahme für den betreffenden Unterbodenbereich zu erhalten.

Nimmt man aber an, daß der Raum für die Röhre und deren Auskleidung durch Beiseitedrücken des Bodens entstanden ist, dann ist der gesamte Nährelementgehalt der Tapeten ein echter, durch die Würmer bewirkter Zuwachs.

Die fertigen Wurmbauten, die man aus trockenen Monolithen durch vorsichtiges Abkratzen des umgebenden Bodens als längere Abschnitte erhalten kann, haben ein in gerader Richtung verlaufendes Lumen von gleichbleibendem Durchmesser. Die äußeren Abmessungen sind jedoch ganz unregelmäßig und weisen starke Wülste und Vorsprünge auf. Der eigentliche Gang ist dann oft in mehrere Zentimeter starke Exkrementpackungen eingebettet. An anderen Stellen der gleichen Röhre ist die Wandauskleidung nur wenige Millimeter dick. Die Auskleidung der Röhren wird nicht kontinuierlich über das ganze Jahr hindurch, sondern zu den Hauptaktivitätszeiten im Frühjahr und Herbst angebracht. Die im Herbst angebrachten Tapeten dürften reicher an organischer Substanz sein, weil zu dieser Zeit mehr frische Pflanzenabfälle als Wurmnahrung zur Verfügung stehen. Die in vorliegender Arbeit untersuchten Wurmbauten führten durch ein im wesentlichen sandiges Material, dessen Korngrößenzusammensetzung aus Tabelle 9 ersichtlich ist.

Tabelle 9. Korngrößen des untersuchten Bodens in μm

Tiefe in cm	2000 −630	630 −200	200 −63	63 −20	20 −6,3	6,3 −2	< 2
0−25	2,4	18,2	19,2	37,7	11,4	3,8	7,3
25−50	2,2	17,8	20,2	38,7	11,1	2,8	7,2
50−75	3,0	23,0	26,0	29,7	8,3	2,5	7,4
75−100	7,1	35,2	33,8	7,7	4,5	2,6	9,2

In solchen sandigen Medien sind die Wurmröhren von stärkeren Exkrementschichten umgeben als im Lehm oder Ton. Man kann dies an ein und derselben Röhre verfolgen, wenn sie in ihrem Verlauf Schichten verschiedenen Tongehaltes durchzieht. Der Schluß liegt also nahe, daß die Auskleidung eine Funktion als Stützelement hat und den Verfall der Röhre zu Lebzeiten ihres Erbauers und Bewohners verhindern soll.

Die Dauerhaftigkeit einer Röhre steht also einmal in Abhängigkeit von der Auskleidung mit Exkrementen und deren gelegentlicher Erneuerung, zum anderen von der physikalischen Zusammensetzung des Bodenmaterials, durch das sie führt. In Völkenrode bleiben Röhren, wenn sie nicht mehr bewohnt werden, noch zwei bis drei Jahre offen. Dann ist das humose Material der Wandauskleidung so bröckelig geworden, daß es den Verfall nicht mehr aufhalten kann.

6.1. Bedeutung der Regenwurmröhren

Die ethologischen Fragen, wie die Würmer beim Bau der Röhren verfahren, wie lange diese bewohnt werden und durch welche Ursachen sie verfallen, bleiben späteren Unter-

suchungen vorbehalten. Von Bedeutung für den praktischen Pflanzenbau wird die Feststellung sein, wieweit und wann die in den Tapeten vorhandenen Stoffe zur Ernährung der Pflanzen bzw. zur Ertragsbildung beitragen. Daß sie es tun, machen die Wurzeln von Getreide, Kartoffeln und Rüben wahrscheinlich, die im Herbst regelmäßig in den Röhren gefunden werden und ihnen metertief folgen.

Die Regenwurmröhren im Boden unterhalb der Krume erscheinen somit in dreierlei Hinsicht von bodenkundlichem bzw. pflanzenbaulichem Interesse:

(1) Sie verbessern die Durchlüftung der tieferen Bodenbereiche und erhöhen die Zugänglichkeit des Unterbodens für die Wurzeln. Ihre Bedeutung für die Wasserbewegung im Völkenroder Boden ist z. Z. unklar. Für Lößboden liegt folgende Angabe von Kopp (1965) vor: „3—5 % Makroporen in Form von Wurzel- und Wurmröhren im Löß ließen etwa die gleiche Wassermenge wie 10—15 % meist texturbedingtes Makroporenvolumen des Sandbodens perkolieren."

(2) Die aus Wurmexkrementen bestehenden Wandauskleidungen („Tapeten") der Röhren sind reich an Pflanzennährstoffen, besonders an Stickstoff und Phosphor.

3) Die Laktatlöslichkeit von Phosphor und Kalium ist in den Tapeten höher als im umgebenden Boden.

6.2. Dichte der Regenwurmröhren im Unterboden

In den lehmigen Sandböden von Völkenrode werden zwischen 100 und 200 Röhren je 1 m² im Unterboden beobachtet, wenn — wie auf dem hier beschriebenen Versuch — die Zufuhr von organischer Masse zur Krume, d. h. die Nahrungsversorgung der Würmer, sehr günstig ist.

Wilcke (1962) hat von 1950—1953 auf dem Dikopshof in Bonn Röhrenzählungen auf 12 Parzellen eines Differenzdüngungsversuchs durchgeführt. Es zeigte sich, daß bei zusätzlichen Stallmistgaben die Zahl der über 2 mm weiten Röhren je 1 m² zwischen 85 und 175 lag, ohne Stallmist zwischen 25 und 103. Eine Unterteilung in weit- bzw. englumige Röhren wurde nicht getroffen. Die Anzahl der Röhren in der Krume war siebenmal höher als die Gesamtzahl aller lebenden Regenwürmer unter 1 m², d. h. es waren auch hier bei weitem nicht alle Röhren bewohnt. Wilcke zählte in drei Tiefen und fand (ermittelt nach der graphischen Darstellung in Abb. 6, S. 135 der zitierten Arbeit) folgenden prozentualen Anteil der Röhrenzahlen:

Tiefe cm	mit Stallmist	ohne Stallmist
0	100	100
30	87	80
50	81	68

Der Abfall der Röhrendichte ist also zwischen 30 und 50 cm Bodentiefe geringer als zwischen 0 und 30 cm, was mit dem Völkenroder Befund übereinstimmt: Unterhalb von 35 cm bleibt die Zahl der weitlumigen Röhren (Durchmesser > 5 mm) bis zur Tiefe von 125 cm konstant (Graff 1967).

Eigene Untersuchungen an Lößparabraunerden bzw. Kolluvium aus solchen am Südharz bei Osterode ergaben auf Ackerland, das alljährlich mit Gründüngung versorgt wird, in 35 cm Tiefe maximal 600—700 Röhren, davon machten die weitlumigen (∅ > 5 mm) ein Drittel bis die Hälfte aus. Die niedrigsten Röhrenzahlen wurden in hängigen Lagen mit flacher Krume über steinigem Untergrund ermittelt: 180 je 1 m², davon 60 weitlumige. Bemerkenswert ist die Beobachtung, daß die Mächtigkeit der „Tapeten" in diesen bindigeren Böden etwa 50 % geringer ist als in Völkenrode.

Finck (1951) hat in schleswig-holsteinischen Braunerden bis zu 1000 Röhren gezählt, wobei weitlumige und englumige nicht unterschieden sind und die untersuchte Tiefe nicht angegeben ist.

Hoeksema und Op t'Hof (1960) zählten in den Niederlanden die Wurmröhren in Böden von Obstkulturen. In 15, 30, 60 und 90 cm Bodentiefe fanden sie bei hohem Grundwasserstand 220, 180, 10 und 10 Röhren, bei tiefem Grundwasser dagegen 600, 670, 780 und 500 Röhren. Auch hier fehlen Angaben der Röhrendurchmesser.

Schmid (1962) hat in oberbayerischen Böden auf zwei Düngungsversuchen mit Stallmist bzw. Bihudung nach siebenjähriger Dauer noch höhere Röhrendichten festgestellt. Es handelt sich in beiden Fällen um Parabraunerden aus Löß, welche in einem Versuch (Puch) mäßig, im anderen (Moos) schwach pseudovergleyt sind. Die höchste Zahl wurde in Puch mit 2400 in 30 cm Tiefe ermittelt, in Moos mit 3000 in 40 cm.

Über die Regenwurmaktivität in Böden Mittelasiens berichtete Dimo (1938). Auf einer bewässerten Luzernekultur warfen die Regenwürmer im Frühjahr je 1 ha 15—20 t Losung an der Bodenoberfläche aus. Bei einer Besatzdichte von 512 lebenden Würmern je 1 m^2 ermittelte er 1478 Röhren zwischen 1 und 6 mm Durchmesser (Mittelwert 2,7 mm). Das Volumen dieser Röhren berechnete er, bis zur Tiefe von 1 m, mit 94,3 Kubikmeter je 1 ha, entsprechend einer Bodenmenge von 122,6 t, welche die Würmer im Laufe der Jahre herausgearbeitet hätten.

Außer von der Bodenbehandlung und von pflanzenbaulichen Maßnahmen ist die Röhrenzahl auch von der Tiefgründigkeit des Bodens und der Ausformung des Reliefs abhängig. Atlavinytė (1964) hat darauf aufmerksam gemacht, daß der Regenwurmbesatz in hügeligem Gelände am Hangfuß stets höher ist als am Mittel- oder Oberhang.

6.3. Gefäßversuche zur Frage der Regenwurmröhren

An Modellböden hat Jeanson (1968) den Röhrenbau verfolgt. Der Autorin ging es dabei in erster Linie um den Einfluß von Substrat und Futter auf die bauende und bodenverlagernde Tätigkeit der Würmer. Ihre Untersuchungen bestätigen die Notwendigkeit einer guter Versorgung des Bodens mit organischer Masse für eine Steigerung der Wurmtätigkeit im Unterboden.

In einer Reihe von Gefäßversuchen haben verschiedene Autoren die Bedeutung der Wurmaktivität für das Pflanzenwachstum zu ergründen versucht. Hier sei nur auf die Ergebnisse von van Rhee (1965) verwiesen, der an ca. 50 cm tiefen Bodensäulen zeigen konnte, daß nach Zugabe von Regenwürmern zum Boden sich der Ertrag an Trockenmasse bei Sommerweizen verdoppelte, bei einer Gräsermischung vervier- und bei Klee verzehnfachte. Der Autor führt die Mehrerträge auf die Verbesserung der Bodenstruktur und Durchlüftung in den Kulturgefäßen zurück, was er mit eindrucksvollen Photographien belegt.

6.4. Künstliche Ansiedlung von Regenwürmern

Auf Neuseeland kam Dauergrünland erst zum normalen Ertrag, wenn man europäische Regenwürmer aussetzte, die für eine bessere Durchlüftung des Wurzelraumes sorgten. Sie verzehrten auch den überschüssigen Pflanzenabfall, der sich vorher anhäufen konnte und so schlecht benetzbar war, daß Regenwasser nicht in den Boden eindrang, sondern oberflächlich abfloß (Hamblyn and Dingwall 1945; Stockdill 1959).

In den Niederlanden ergab sich aus ähnlichen Gründen in den neugewonnenen Poldern die Notwendigkeit, sowohl die Grünlandflächen (van Rhee 1963) wie die Obstkulturen (van Rhee 1969) mit Regenwürmern künstlich zu besiedeln, da an deren selbständige Einwanderung nicht zu denken war.

In den Obstkulturen vermehrte sich eine der eingesetzten Arten, *Allolophobora caliginosa* (Savigny 1823), so zahlreich, daß die Maßnahme als erfolgreich angesehen werden kann, denn es traten meßbare Verbesserungen der Aggregatstabilität und der Wasserverfügbarkeit im Oberboden ein. Die ebenfalls eingesetzte Art *L. terrestris* dagegen konnte

sich in den Polderböden nicht halten. Es muß deshalb angenommen, werden, daß sie als Pionierart für diese noch nicht „ausgereiften" Böden unverwendbar ist.

Die hervorragende Eignung von *A. caliginosa* für solche Bodenverbesserungsversuche stellten auch GHILAROV und MAMAJEV (1966) in den artesisch bewässerten Oasen der Wüste Kysyl-Kum fest. Dort konnte ein Regenwurmbestand nur durch Einsetzen von Tieren aufgebaut werden, die aus großer Entfernung herbeigeschafft waren. Dabei ist zu berücksichtigen, daß *A. caliginosa* offenbar unter dem Einfluß des kontinentalen Klimas in Mittelasien wesentlich schwerer (2 g und mehr) wird als in Mitteleuropa (0,6 bis 1 g). Entsprechend der bedeutenderen Körperdimensionen dringt sie auch in größere Bodentiefen vor als unsere heimischen Vertreter dieser Art und gewinnt dadurch für den Unterboden eine ähnliche Bedeutung wie bei uns *L. terrestris*.

6.5. Nutzen der Regenwurmröhren für die Bodenkultur

Von seiten der Landbauwissenschaft haben in letzter Zeit ARLAND (1959), KÖHNLEIN (1960) und SAUERLANDT (1962) die Wichtigkeit der Wurmröhrenfrage betont. ARLAND schreibt anschließend an eine Betrachtung über Bodenverdichtungen und Untergrundlockerung: „Man sollte viel mehr als bisher den biologischen Weg beschreiten, der mit dem Ziele einer möglichst starken Vermehrung der Regenwürmer und des Anbaus von tiefwurzelnden Pflanzen, wie z. B. Luzerne, dazu führt, daß die Verdichtungshorizonte des Bodens durchstoßen werden, wobei Kanäle für kommende Wurzeln entstehen."

KÖHNLEIN untersuchte die „Unterbodenporung" unter dem Gesichtspunkt des Wasserhaushaltes. Den Röhren, die von Regenwürmern und von der Luzerne herrühren, folgen die Wurzeln der verschiedensten Kulturpflanzen, um bei Trockenheit in der Krume die Wasservorräte des Unterbodens zu nutzen. Diese Unterbodenzugänglichkeit betrachtet KÖHNLEIN als einen wichtigen Faktor für die Bodenfruchtbarkeit. Er stellt sie auf eine Stufe mit Humusgehalt, Tonanteil und Basensättigung. Es ist daher notwendig, bei den Bearbeitungsmaßnahmen darauf zu achten, daß die Poren zum Unterboden nicht durch unzeitiges Pflügen zugeschmiert werden und dadurch ihre Zugänglichkeit verlieren.

SAUERLANDT (1962) nennt folgende Punkte als kennzeichnend für ertragreiche Böden: (a) hoher Gehalt an nährstoffreichem Humus, (b) hohes Porenvolumen, (c) ungestörter Gasaustausch, (d) hohe biologische Aktivität, (e) mullreiche Krume, (f) zahlreiche Gangröhren in den Untergrund.

Durch die in der vorliegenden Arbeit berichtete Bodenbedeckung (Mulch) mit Stroh unter Fischmehlzusatz, mit Abwasserschlamm, mit frischem, nur technisch aufbereitetem Müll sowie mit Kartoffelkraut unter Zusatz von Grünmasse ist die Unterbodenporung unterschiedlich stark gefördert worden. Andererseits waren Stroh mit Kalkstickstoffzusatz, alter Müllkompost und Torf nur wenig wirksam. In beiden Fällen ist der Zusammenhang mit einer Förderung bzw. Hemmung der Regenwurmtätigkeit evident. Bei unseren Versuchen wurden Mulchmaterialien in überhöhten Mengen angewendet, um rasch zu einem meßbaren Ergebnis zu kommen. In der Praxis wird man mit kleineren Mengen längere Zeit arbeiten müssen, um ähnliche Wirkungen zu erzielen.

7. Zusammenfassung

Durch Mulchen mit verschiedenen organischen Stoffen in den Herbst- und Wintermonaten von vier aufeinanderfolgenden Jahren wurde der Regenwurmbesatz auf den behandelten Flächen beeinflußt. Die Aktivität und Vermehrung der Art *Lumbricus terrestris* LINNAEUS 1758 wird von einigen Mulchmaterialen begünstigt, was sich im Boden an der Häufung ihrer charakteristischen tiefen Wohnröhren erkennen läßt. Diese sind tapetenartig mit Exkrementen ausgekleidet. In der vorliegenden Arbeit werden Angaben über den Nährelementgehalt dieser Tapeten gemacht und mit den Gehalten des umliegenden Bodens verglichen.

7. Summary

Soil covering (mulch) with different organic materials during autumn and winter of four successive years influenced the earthworm population on the treated area. The activity and reproduction of *Lumbricus terrestris* LINNAEUS 1758 was favored by some mulch materials. This could be recognized in the soil from the increased number of the characteristic deep worm burrows which are lined with excrements. In the present paper, the content of nutrient elements of these linings is shown and compared with the contents of the surrounding soil.

8. Dank

Für die Durchführung der Analysen dankt der Verfasser Frau U. NIENSTEDT als technischer Assistentin, sowie den Herren Dr. F. MERTENS und Dipl.-Mathematiker K. H. WEISSBACH von der Forschungsanstalt für Landwirtschaft, Braunschweig-Völkenrode. Die Deutsche Forschungsgemeinschaft hat einen Teil der Untersuchungen unterstützt.

9. Schrifttum

ARLAND, A., 1959. Tyrannei der Erde. Ein Problem des modernen Landbaus. Abh. Sächs. Akad. Wiss. Leipzig, Math.-Nat. Kl. **46** (3), 73.

ATLAVINYTÉ, O., 1964. Distribution of earthworms (Lumbricidae) and larvae of insects in the eroded soil under cultivated crops. Pedobiologia **4**, 245–250.

DIMO, N. A., 1938. Semljanye červi v počvach srednej Asii. Počvovedenie 494–526.

FINCK, A., 1952. Ökologische und bodenkundliche Studien über die Leistungen der Regenwürmer für die Bodenfruchtbarkeit. Z. Pflanzenern. u. Bodenkunde **58** (103), 120–145.

GHILAROV, M. S., und B. M. MAMAEV, 1966. Über die Ansiedlung von Regenwürmern in den artesisch bewässerten Oasen der Wüste Kysyl-Kum. Pedobiologia **6**, 197–218.

GRAFF, O., 1964. Untersuchungen über die Bodenfauna im Ackerboden. Habilitationsschrift Landw. Fak. Univ. Gießen 1963, 107 S.

– 1967. Über die Verlagerung von Nährelementen in den Unterboden durch Regenwurmtätigkeit. Landw. Forsch. **20**, 117–127.

HAMBLYN, C. J., and A. R. DINGWALL, 1945. Earthworms. New Zealand J. Agric. **71**, 55–58.

HOEKSEMA, K. S., en A. OP T'HOF, 1960. Der perforatiegard. Een maat voor de activiteit van regenwormen in de grond. Landbouwvoorlichting **17**, 673–676.

JEANSON, C., 1968. Morphologie d'un sol artificiel structuré par les lombricides. Mém. Mus. Hist. Nat. nouv. sér. A. Zool. **46**, 211–357.

KÖHNLEIN, J., 1960. Die Bedeutung der Unterbodenporung. Landw. Forsch. **13**, Sonderheft 14, 61–71.

KOPP, E., 1965. Die Permeabilität durchlässiger Böden, die Gliederung des Makroporenraums und die Beziehungen zwischen Permeabilität und Bodentypen. Z. Kulturtechnik und Flurbereinigung **6**, 65–90.

PONOMAREVA, S. T., 1953. Vlijanie žisnedejatel'nosti doždevych červej na sosdanie ustojčivoj struktury dernovo-podsolistoj počvy. Trudy počvennogo instituta im. V. V. Dokučaeva **51**, 304–379.

VAN RHEE, J. A., 1963. Earthworm activities and the breakdown of organic matter in agricultural soils. In: DOEKSEN, J., and J. VAN DER DRIFT (ed.): Soil Organisms, 55–59. Amsterdam.

– 1965. Earthworm activity and plant growth in artificial cultures. Plant and Soil **22**, 45–48.

– 1969. Inoculation of earthworms in a newly drained Polder. Pedobiologia **9**, 128–132.

SAUERLANDT, W., 1962. Entwicklungsmöglichkeiten für den Aufbau von Ackerböden mit höherem Ertragsniveau. Landbauforschung Völkenrode **12**, 3–10.

SCHMID, G., 1962. Einfluß verschiedener organischer Dünger auf Bodenzustand und Pflanzenertrag. Bodenkultur (A) **13**, 118–132.

STOCKDILL, S. M. J., 1959. Earthworms improve pasture growth. New Zealand J. Agric. **95**, 227–233.

WILCKE, D. E., 1962. Untersuchungen über die Einwirkung von Stallmist und Mineraldüngung auf den Besatz und die Leistungen der Regenwürmer im Ackerboden. Monogr. z. angew. Entomol. (Beih. zur Z. angew. Entomol.) **18**, 121–167.

Anschrift der Verfassers: Dr. O. GRAFF, Institut für Bodenbiologie, Forschungsanstalt für Landwirtschaft, D-3301 Braunschweig-Völkenrode, Bundesallee 50.